

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	実問題における不確定性を考慮した間接モニタリング技術に関する研究
Title(English)	Research on indirect monitoring technology considering uncertainty in real problems
著者(和文)	米谷直樹
Author(English)	Naoki Yoneya
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12537号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:天谷 賢治,小酒 英範,田中 正行,佐藤 進,宮崎 祐介
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12537号, Conferred date:2023/9/22, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	システム制御 システム制御	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of Engineering	(工学)
学生氏名： Student's Name	米谷 直樹		審査員主査： Chief Examiner	天谷 賢治	

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「実問題における不確定性を考慮した間接モニタリング技術に関する研究」と題し、全6章で構成される。

第1章「緒論」では研究背景と研究目的を述べた。実問題として海洋鋼構造物の防食状態およびエンジンの燃焼状態について、限られた観測量から間接的に対象物の内部状態をモニタリングする技術確立が必要である。しかし実問題には不確定性が含まれるため、システムの持つ不確定性の種類に応じて演繹的モデル、帰納的モデルを利用するアプローチが有効である。そこで本研究の目的を、海洋鋼構造物の防食状態およびエンジンの燃焼状態に対して、それぞれの不確定性を考慮した間接モニタリング技術を開発することとした。

第2章「従来研究」では、本研究の基礎事項であるデータ同化と機械学習の概要、また従来研究として、海洋鋼構造物の電気防食状態と自動車エンジンの燃焼状態のモニタリング技術についてまとめた。加えて、従来技術の問題点を整理した。

第3章「ベイズ推定を用いた海洋鋼構造物の犠牲陽極発生電流量同定法の開発」では、社会インフラの1つである大型海洋鋼構造物の電気防食状態を間接的にモニタリングする手法として、海洋鋼構造物周辺における海水中の電位測定データから犠牲陽極からの発生電流量および構造物表面電位を推定する手法を開発した。犠牲陽極からの発生電流量は犠牲陽極の消耗速度および残存寿命の推定、構造物表面電位は腐食状態の推定に用いられる。これらの測定量および推定量の関係は静電場の支配方程式であるラプラス方程式によって演繹的にモデル化し、有限要素法で離散化することにより実問題の幾何的情報を取り込んだ。また、境界条件の不確定性を多自由度の確率変数として取り扱い、モデルの柔軟性を向上させた。さらに、対象物の電気化学的な知見を先験情報としてベイズ推定の枠組みに取り込むことにより問題の悪条件性を克服した。最後に、実際の港湾施設に対して実証実験を実施して手法の有効性を検証した。

第4章「データ同化を用いた犠牲陽極電流量予測システムの開発」では、第3章で開発した技術を基にデータ同化手法を適用し、時間方向に観測量と推定量の拡張を行った。犠牲陽極の消耗の電気化学的な振る舞いを、不確定性を含む時間発展の数理モデルとして表現し、経時的な現場データを蓄積することで、犠牲陽極発生電流量の将来予測の精度向上を確認した。そして、数値シミュレーションにより生成した模擬測定データを用いて、本手法の有効性を検証した。

第5章「深層学習を用いた点火コイル信号に基づくエンジン失火検知技術の開発」では、環境負荷の高い工業製品の1つである自動車について、予防保全および異常早期発見に向けたモニタリング技術への関心が高まっていることを受け、実際の自動車エンジンから簡便に取得できる点火コイルの電流電圧信号からエンジンの燃焼・失火状態を検出する技術を開発した。本問題においては点火コイルの電流電圧とエンジン内部の燃焼・失火状態との関係が複雑性と不確定性の高い放電現象によって影響されている。この関係が未解明であることを考慮し、放電現象における電流電圧と燃焼・失火状態の間の物理的メカニズムを解明するために、機械学習を活用した。検出精度を向上するために、膨張行程における診断用ポスト点火時の信号を用い、さらに2次元画像情報に親和性のある畳み込みニューラルネットワークに電流電圧信号の位相面画像を入力することを提案した。エンジンから得られた実データを用いて畳み込みニューラルネットワークを学習し、画像分類時の判断根拠となる放電特性を位相面画像上に可視化した。この結果から放電現象に基づく物理的メカニズムを検討し、特に点火コイルの二次エネルギー放出速度が燃焼・失火状態のロバストな指標である可能性を見出した。

第6章「結論」では、本論文において海洋鋼構造物の防食およびエンジン燃焼の実問題に対して間接モニタリング技術を開発したことをまとめた。海洋鋼構造物に対しては、海洋環境を表現可能な高自由度モデリング、先験情報を積極的に利用したベイズ推定、そして時間軸情報を蓄積および活用するデータ同化により、実環境のパラメータ不確定性に対応する物理モデリングおよび逆解析技術を構築した。エンジンに対しては、位相面を用いた現象の上位概念化、判断根拠を説明可能な深層学習モデル構築により、複合現象の振る舞いを可視化する技術を構築した。最後に、今後の展望を示した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	システム制御 システム制御	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of Engineering	(工学)
学生氏名： Student's Name	米谷 直樹		審査員主査： Chief Examiner	天谷 賢治	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In this dissertation, titled “Research on indirect monitoring technology considering uncertainty in real problems,” modeling technologies for simulating the real environment with various uncertainties were investigated.

In chapter 1, the social background and research objectives were introduced.

In chapter 2, data assimilation and machine learning were explained as basic theories, and challenges of the indirect monitoring for marine steel structures and engines were described.

In chapter 3, a deductive estimation method based on a physical model was investigated for indirectly monitoring the cathodic protection state of marine steel structures. An inverse analysis method for estimating the current generated by sacrificial anodes by potential measurement around the structure in the sea was developed. The developed technology was validated in the real environment experiment.

In chapter 4, a prediction system of the sacrificial anode current using data assimilation was developed. The system accumulates on-site information and predicts the sacrificial anode current more accurately, which can be a new prediction method for the cathodic protection. The effectiveness of the developed framework was confirmed by numerical experiment.

In chapter 5, an inductive estimation method using machine learning was investigated for monitoring an automotive combustion engine. As a combustion diagnosis technology utilizing existing engine components, a method for detecting engine misfire cycles from ignition coil signals by deep neural network was developed. In addition, the judgement basis of the model was visualized and the physical mechanism was investigated. The model training and validation were carried out with the engine test bench data, and the validity of the developed method was confirmed.

In chapter 6, the developed technologies were summarized and future perspectives were described.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).